Grass, legume, and cereal silages for ruminants

Agriculture Canada

Publication 1786/E

Canada

85-6614/

Grass, legume, and cereal silages for ruminants

L. J. Fisher
Research Station, Agassiz, B.C.

J. A. Robertson
Research Station, Melfort, Sask.

P. Savoie
Research Station, Sainte-Foy, Que.

PUBLICATION 1786/E, available from
Communications Branch, Agriculture Canada, Ottawa K1A 0C7

©Minister of Supply and Services Canada 1985
Cat. No. A63-1786/1985E ISBN: 0-662-13741-8
Printed 1985 7M-5:85

Également disponible en français sous le titre
Ensilages de graminées, de légumineuses et de céréales pour ruminants.

CONVERSION FACTORS FOR METRIC SYSTEM

Imperial units	Approximate conversion factor	Results in:	
LINEAR			
inch	x 25	millimetre	(mm)
foot	x 30	centimetre	(cm)
yard	x 0.9	metre	(m)
mile	x 1.6	kilometre	(km)
AREA			
square inch	x 6.5	square centimetre	(cm^2)
square foot	x 0.09	square metre	(m^2)
acre	x 0.40	hectare	(ha)
VOLUME			
cubic inch	x 16	cubic centimetre	(cm^3)
cubic foot	x 28	cubic decimetre	(dm^3)
cubic yard	x 0.8	cubic metre	(m^3)
fluid ounce	x 28	millilitre	(mL)
pint	x 0.57	litre	(L)
quart	x 1.1	litre	(L)
gallon	x 4.5	litre	(L)
WEIGHT			
ounce	x 28	gram	(g)
pound	x 0.45	kilogram	(kg)
short ton (2000 lb)	x 0.9	tonne	(t)
TEMPERATURE			
degrees Fahrenheit	(°F-32) x 0.56 or (°F-32) x 5/9	degrees Celsius	(°C)
PRESSURE			
pounds per square inch	x 6.9	kilopascal	(kPa)
POWER			
horsepower	x 746	watt	(W)
	x 0.75	kilowatt	(kW)
SPEED			
feet per second	x 0.30	metres per second	(m/s)
miles per hour	x 1.6	kilometres per hour	(km/h)
AGRICULTURE			
gallons per acre	x 11.23	litres per hectare	(L/ha)
quarts per acre	x 2.8	litres per hectare	(L/ha)
pints per acre	x 1.4	litres per hectare	(L/ha)
fluid ounces per acre	x 70	millilitres per hectare	(mL/ha)
tons per acre	x 2.24	tonnes per hectare	(t/ha)
pounds per acre	x 1.12	kilograms per hectare	(kg/ha)
ounces per acre	x 70	grams per hectare	(g/ha)
plants per acre	x 2.47	plants per hectare	(plants/ha)

Contents

Introduction/6
Silage making—advantages and disadvantages/6
What makes silage different?/7
Structures for storing silages/9
Silage additives/12
Equipment and harvesting conditions/14
Ensiling equipment/16
Silages as feedstuffs/17
Conclusions/19
Appendixes/21

Introduction

The purpose of this bulletin is to describe in detail the ensiling process, its advantages, its disadvantages, and the management costs and skills required to make it an effective form by which to preserve and utilize forage nutrients. It is hoped that this basic information will be helpful to farmers and extension workers when evaluating a silage system within a given farming enterprise. Ensiling forage crops is one of several methods of preserving nutrients for feeding ruminants when they are housed indoors. Before you select a system of feed preservation, you should compare the advantages and disadvantages of the main systems available in your area such as high-moisture silage, medium-moisture or wilted silage, or hay.

Silage making—advantages and disadvantages

Silage making is an ancient art, but only in the past 20 years has it become a major method of forage conservation. It has been estimated that in 1968 only 12-15% of conserved grass was in the form of silage in the United Kingdom, but by 1979 this proportion had grown to 45%. This trend, which is also apparent in North America, is the result of an increased awareness of the losses that occur in the field because of multiple handling of forage during the natural drying process, and forage spoilage and leaching of nutrients caused by delays in harvesting after cutting due to inclement weather. Major losses can also occur during storage of hay if the moisture content at harvest was too high and/or the dried crop was not stored under shelter. The availability of mechanized feeding systems for silage has been a further important factor influencing the use of ensiling as a preservation technique.

Advantages of silage making are as follows:

1. When the hay crop is made into silage, the wilting period is reduced to a minimum and there is less chance of damage to the cut forage from weathering. Silage making effectively shortens the harvest period, and increases both the amount of crop that can be harvested when it is at its optimum nutrient content and the time available for subsequent regrowth. This advantage becomes even more important for annual crops that mature in late summer, when conditions for field drying become less favorable than in June or July.

2. Modern intensive livestock enterprises require large quantities of feed and ensiling is an excellent method of harvesting crops at their optimum nutrient content over a period of several months. This is done by carefully selecting perennial grass-legume mixtures, and annual cereals varying in dates to maturity, and by varying dates of seeding annuals.

3. Silages require no further processing, can be mixed uniformly with other feedstuffs, and are readily handled by mechanical feeding equipment.

4. Ensiling is a suitable method for salvaging hail-damaged or frozen crops. Weedy crops can be harvested before the seeds scatter.

5. Wastage at the feed bunk is reduced.

6. The fire hazard is negligible insofar as the forage used to make silage is not too dry (more than 60% dry matter).

Disadvantages of silage making are as follows:

1. Ensiling requires specialized storage structures. However, bunker silos can be used for equipment storage and upright silos can be used for grain storage.

2. Silage has a limited bunk life once it is removed from storage. Molds develop if silage is exposed to the air for several days. For that reason, it does not lend itself to off-farm sales. Because of its high moisture content, silage is also more expensive to transport than hay.

3. Dry matter intake is generally lower than in animals on pasture or receiving green chopped forage or hay.

4. If ensiling management is inadequate, storage losses can offset the advantage of reduced field losses.

5. There is a high labor requirement during harvest to ensure rapid filling of the silo.

6. Investment in machinery is relatively high.

7. Silo gas is a health hazard. Silo gas, nitrogen dioxide, is a toxic gas produced the first few hours after ensiling. It is most likely to be present at dangerous levels when crops containing high levels of nitrate nitrogen are ensiled. Because nitrate accumulates in the vegetative part of the plant and not the seed, immature whole plant cereal silages or grass-legume silages produced on highly fertilized land are most commonly the source of silo gas. Should it be necessary to enter an upright silo shortly after filling, always ventilate the area above the silage by turning on the blower fan and opening any doors. Have someone present outside the silo in case assistance is required, and wear a safety harness and lifeline.

What makes silage different?

Silage can be a feed of uniform and excellent quality. If improperly prepared it can also be variable and inconsistent in quality, and thus reduce animal performance. Silage quality is affected by a number of interacting factors which control the fermentation process. These factors are as follows:

1. Stage of maturity—alters soluble carbohydrates, protein, and fiber contents.

2. Moisture content—controlled by stage of maturity, weather conditions, and harvesting system.

3. Species of forage.

4. Type of silo.

5. Packing and sealing procedures—influenced by fineness of chop, moisture content, speed of filling, and additives.

6. Utilization—silages require different supplements and allow the use of different feeding systems.

This complex interaction of the factors controlling silage quality can be used to advantage if the following four essential conditions are ensured:

1. Air exclusion. An anaerobic environment is required for successful fermentation. The palatability and feeding value of the recovered material are reduced if air is allowed to enter the silage mass during the fermentation process. Common causes of air entering the silage are crops ensiled when they are too dry for firm compaction, and poor chopping because of dull knives or improper setting, characterized by large and uneven particle sizes. Air can also enter the silage as a result of insufficient packing, porous side walls, inadequate sealing, or improper operation or mechanical failure of an airtight silo.

2. Rapid increase in acidity. A rapid increase in acidity can be accomplished by ensiling crops with a high soluble carbohydrate content, by adding readily fermentable material, or by using acids to increase acidity. High acidity is needed to encourage a lactobacillus type of fermentation and the production of optimum levels of lactic acid. It also inhibits a clostridial type of bacterium that produces butyric acid and a foul smelling silage, which causes a low dry matter intake. Acidity is measured according to the concentration of hydrogen ions in a solution. The pH, which is inversely proportional to this concentration, ranges from 0 for highly acidic solutions to 14 for highly alkaline solutions. Green forages are slightly acidic at the outset with a pH of about 6.0. A well-fermented silage is acid, with a pH of between 4.0 and 4.5.

3. Moisture content. Moisture content is the most important factor in determining how the forage crop will react to the ensiling process. When at optimum nutrient content, grasses may contain only 15% dry matter and cereals 45% dry matter, the importance of regulating moisture content at ensiling time either by wilting or by adding water can be appreciated. If silage is very moist (less than 30% dry matter), acidity increases slowly and fermentation lasts longer, resulting in a wasteful amount of acid production and protein breakdown. For grasses, legumes, and cereals ensiled in bunker silos or in structures other than oxygen-limiting upright silos, a more stable fermentation and higher dry matter intake are achieved by ensiling material containing between 30 and 40% dry matter. Ensiling material that is too dry usually results in inadequate packing. The material then heats up excessively, so that the proteins become fixed and unavailable to animals. The result is a silage that has high crude protein content on analysis but does not provide the proteins required for milk or meat production.

4. Sufficient population of lactobacilli. Usually there are enough of the lactobacillus type of bacterium present on the grass to produce lactic acid if fermentable material is available. Activity of the bacteria can be restricted by too much air, by too mature or dry a material, or by a very wet cold forage, resulting in a poorly preserved silage of low palatability and short bunk life.

In order to effectively control the many factors influencing silage quality, one should be aware of the various stages of the fermentation process.

First, there is the continued respiration of plant cells, which produces carbon dioxide and utilizes oxygen caught in the silo mass, thus encouraging the onset of anaerobic conditions. This phase is shorter in upright silos than in bunker silos and is less when filling is rapid, ranging from 5 to 15 h. Extended surface exposure favors growth of molds and yeasts. There is a considerable breakdown of plant protein into nonprotein nitrogen and the generation of excessive heat. If the heat exceeds 35°C, it can reduce digestibility of the protein and carbohydrate portions of the forage, resulting in a heat-damaged silage.

Second, there is a period of acetic acid production by coliform bacteria, which is short-lived and terminated by the rapid drop in pH.

Third, lactic acid production begins through the proliferation of lactobacilli and streptococci bacteria. The more rapidly the silage enters the lactic phase of fermentation the lower will be the energy losses and the higher the nutrient content of the silage. This phase should be reached within 2 or 3 days. Lactic acid content should increase to between 4 and 5% of the silage dry matter, the pH should drop to a range of 4.0–4.5, and if air is kept out, no further fermentation should occur.

A fourth stage of fermentation may occur if acidity is not high enough to prevent the action of clostridial bacteria in converting the remaining soluble carbohydrate and lactic acid to butyric acid. This is a deteriorating phase of fermentation which begins approximately 8 days after ensiling, and results in the production of ammonia from protein and losses of energy in the form of carbon dioxide and heat, especially if the ensilage is not properly packed, inadequately sealed, or too high in moisture content.

A fifth stage of fermentation may occur when silages are removed from the silo for feed; this stage is more predominant in drier silages and in silages that have a relatively low acid content. In this stage, the growth of molds and yeasts results in heat production, a reduction in digestibility, and, most important, a decrease in palatability, sometimes as the result of toxins from molds or fungi. The loss is most obvious on the surface of silos that are being fed out too slowly in warm weather.

In summary, the fermentative process of ensiling is a rapid production of acid, dependent on the establishment of anaerobiosis in the silo, which is influenced by the moisture and soluble carbohydrate contents and the buffering capacity of the forage.

Structures for storing silages

There are several basic designs and variations to chose from when selecting a suitable silo structure. The choice depends on the resources available and the feeding system with which it is to be coordinated. Each type of silo has its own limitations as to the moisture content of the crop to be ensiled. Structural damage caused by acids and excessive runoff occur when forages that contain more than 75% moisture are ensiled in tower silos. Conversely, bunker silos are better adapted to high-moisture silage but require careful packing and sealing if moisture content is less than 65%.

For a given degree of management skill, ensiling losses are inversely related to the capital cost of the structure (Table 1). Dry matter losses depend on the expertise and care taken in storing silage.

TABLE 1 Range of dry matter losses as a percentage of dry matter ensiled that can be considered normal for various types of silos and levels of management

Type of silo	Normal moisture range (%)	Field losses (%)	Storage losses percent Management skill High	Low
Oxygen-limiting tower	40–60	6–12	3	8
Concrete tower	55–70	3–9	5	15
Bunker, horizontal	60–85	2–8	9	20
Earth, horizontal	60–85	2–8	12	25
Covered stack	60–85	2–8	15	40

Another consideration when selecting a suitable silo structure is the relative annual cost per tonne of dry matter stored. Appendix A provides a cost calculation for three types of silo structures. Costs depend primarily on the outlay required, interest rates, and dry matter losses. Since these factors vary over time and according to region, costs must be calculated for each specific situation.

The many advantages and disadvantages of each type of silo structure should also be considered when making a selection. A type of silo suitable for one farm may not be suitable for another. A skilled operator may be able to use a low-cost silo structure effectively, whereas an unskilled operator may need an expensive structure to obtain the same results.

The following is a summary of some of the factors that should be considered when selecting a suitable silo.

Horizontal, or bunker, silo This type of silo provides the lowest initial capital cost, particularly when large tonnages are concerned, and can be constructed using on-farm labor and equipment. The horizontal silo is suitable for large-volume harvesting and feeding systems. It can be adapted to self-feeding by using a feeding gate or an electric wire, especially if a paved floor and apron are included; however, self-feeding restricts the depth of the packed silage to approximately 2 m. This type of silo is most suitable for high-moisture direct-cut silage, because effluent losses are less than for silages stored in tower silos at the same moisture content. Field losses and cost of equipment operation may be lower for bunker silos if forage cutting and chopping can be done in one operation. Greater management skill and time are required to keep dry matter losses to an acceptable level ($< 10\%$), than for tower silos, particularly with higher dry matter silages. Labor and equipment required for filling and unloading silage for feed are usually greater than for tower silos, as are space requirements for the silo and access roads. Drainage and drifting snow must be considered when planning the placement of

a horizontal silo. Horizontal silos may be filled by blowing in or dumping the forage and then packing it with a tractor. The ensiled material can be removed from horizontal silos using a front-end loader or a reel-type unloader or they can be equipped for self-feeding systems.

Tower silo The conventional-type silo may be built of wooden or concrete staves or cast in place concrete. Oxygen-limiting tower silos may be either glass lined or constructed of aluminized steel or concrete and can be equipped with either bottom or top unloaders. Tower silos are easily adapted to mechanized feeding systems, have lower dry matter losses, and require less space than horizontal silos. In conventional tower silos with top unloaders, the silage on the surface is continually exposed to the air. The best results are obtained when the forage ensiled contains 30–40% dry matter and at least 5–10 cm of silage are removed every day. Oxygen-limiting silos reduce air contact with the silage and allow continuous throughput of forages because they unload from the bottom. They have lower losses than conventional types but are more expensive to build and operate. A longer wilting period is generally recommended for forage before it is put into oxygen-limiting silos. The dry-matter content should range from 40% to 55%. This requirement can be a disadvantage in areas where there is a high risk of rainfall at harvesttime for forage harvested at its optimum nutrient content. If the silage in tower silos has a high moisture content, freezing can be a problem at removal time. Regardless of the type of structure used, the quality of the fermented feed can be no better than that of the material ensiled.

Stack silo Covered stacks can provide adequate storage for surplus forage. The stacks must be located in a well-drained area, be built quickly, and sealed with a plastic sheet (15μm, or 0.006 in. thick) held down by tires, bales, or sand. Losses are lowest in areas of low temperature and low rainfall. The silage should be used during the cooler seasons. Stack silos have been used successfully in northwestern Quebec as an effective storage system for grasses. Stack silos are a low-investment form of storage but require good management to prevent excessive losses during storage and feeding.

Bagged silage The costs of a bagged silage storage system are high but if the plastic bags that are used in this system are kept sealed they do provide excellent control of fermentation. The system has the flexibility required for custom work where relatively small tonnages are involved. Repairs and upkeep are minimal and silages with a wide range (20–50%) of dry matter content can be stored. This system has several disadvantages: it requires a large area for storage, there may be problems with snow and freezing temperatures, and the plastic bags cannot be reused. In older systems the time required for filling bags was considerable, resulting in a slower than average harvesting rate; however, recently developed prefolded bags have reduced the time required to perform this operation to a few minutes. Generally a bagged silage system unloads with a front-end loader but can be designed for self-feeding. Once the silo is opened, the silage should be used quickly to avoid losses from mold for silages in excess of 40% dry matter.

Baled silage Although several of the large balers can make high-density bales suitable for fermentation, some of the older models with pressure rollers can cause problems if high-moisture material becomes wrapped around the rollers. To make good silage the bales must be uniform and of even density, and the ideal dry matter range is 25–35%. Thorough sealing of the stacks is essential, because otherwise mold can grow around the edges of individual bales. If bales are not dense, serious heat damage and dry matter losses can also occur. Bales should be used before the warm weather begins. The bales should not be more than 1.2 m in diameter because of their high water content and greater density relative to hay. They should be stacked in a well-drained area with a minimum of air space between bales, covered, and sealed the same day. Once the seal is broken the silage must be used within a few days.

Silage additives

The wide range of results obtained during silage making shows the need for more reliable methods to ensure a more consistent quality. Although silage additives do help improve the quality of silage, it is important to know when they would be beneficial and when they would simply be an unnecessary expense. The main factor in deciding whether or not an additive should be used is the moisture content of the crop at ensiling time. Another factor is the kind of crop ensiled. It is generally accepted that additives do not improve the fermentation of corn silage but may assist fermentation in other crops. If we classify silages according to their moisture content, we have three main categories: high-moisture silage with a moisture range of 70–85%; wilted silage with a moisture range of 60–70% (55–65% in tower silos with a diameter greater than 6.5 m); and half-dry silage (haylage) with a moisture range of 40–60%. With high-moisture silage, the use of an acid-generating additive is recommended. Wilted silages benefit from an additive only if silos are not sufficiently airtight, or are not properly sealed, or if faulty techniques are used in making the silage.

Available additives—which ones should be used? A number of additives are currently marketed in Canada. The main types are acids, flavor compounds, antioxidants, bacterial cultures, enzymes, sterilants, antibiotics, and feedstuffs. Many of these types of additives have some beneficial influence on silage fermentation, but few can be classified as reliable additives producing consistently good results.

Feedstuffs such as molasses or grain increase the nutrient content of the silage and provide a source of fermentable carbohydrate which speeds up the fermentation process. However, some of the nutrients are lost during fermentation and this loss relative to the nutrient value of the feedstuff when fed directly to the animals must be taken into consideration. Feedstuffs such as beet pulp, dry grain, or chopped hay can be effective in reducing effluent losses and improving fermentation of high-moisture silage. Urea has been ensiled with corn silage (at approximately 4 kg/t) in order to increase its nitrogen content.

In recent years, a number of chemicals have been used to promote proper fermentation in the silo. Formic acid, at 2% (dry matter basis) or 3–4 kg per wet tonne of silage, has been used successfully in reducing pH and preventing secondary fermentation in high-moisture grass silages. For legume silages, 4–5 kg/t are required. Use of a pH-measuring device is recommended to ensure that sufficient acid is added to lower the pH of the forage to 4.2 without making it fall below 4.0. Because of the corrosive nature of this chemical, rubber gloves, aprons, and eye protection should be used by operators when they are mixing and filling applicators with formic acid solutions, and equipment should be washed after each use. Numerous studies in Europe, USA, and Canada have indicated that the addition of formic acid to unwilted silage (18–26% dry matter) has improved the nutritive value of that silage by $4–8 per wet tonne through an increase in the digestibility, intake, and efficiency of utilization of the forage. Formaldehyde has been used in combination with formic acid in order to protect the protein fraction of the forage from being degraded into nonprotein nitrogen. Propionic acid-based liquid preservatives have proven effective in reducing nutrient losses but can also be unpleasant to work with.

In order to take advantage of the benefits of quickly reducing the pH of the silage, yet eliminate the problems of working with corrosive liquids, various companies have developed additives in the form of powders. Livestock response to silages treated with these powder additives has been so variable that only a few additives are currently registered in Canada. These are lactic acid bacteria cultures—both viable and nonviable. The commercial additives can be classified into three categories: sodium metabisulfite salts, which are designed to react with the water in high-moisture grass to produce acid and lower the pH; mixtures of enzymes, which are supposed to stimulate fermentation and lactic acid production; and dried cultures of lactic acid bacteria, which stimulate lactic acid production.

Generally speaking, livestock response to silages treated with the additives in the last two categories is not better than the response to untreated silages, although some increase in lactic acid production and fermentation temperatures has been noted. The first category of additives described has been effective in reducing surface spoilage and improving palatability of high-moisture silages.

Silage additives should be considered on an individual basis. Response to the same additive has not been consistent. The quality of crop management and the stage of maturity, species, and dry matter content of the forage, as well as the type of silo used and the weather conditions can influence the effectiveness of additives.

When ensiling is done properly, the use of additives offers few advantages. The use of additives should be considered only when it is difficult to meet all the requirements for producing good silage. In Canada, wilting in high rainfall areas is undoubtedly the hardest requirement to meet and the use of additives should be considered as being potentially useful.

Equipment and harvesting conditions

Most field crops and certain waste products lend themselves to ensiling as a means of preservation. Palatability of poor feedstuffs tends to be enhanced by fermentation, whereas palatability of lush forages tends to be decreased. The ensiling process does not improve the nutritive value of the feed ensiled, regardless of the structure or additive used. It is therefore important that forage crops be harvested at their optimum stage of maturity and ensiled at an optimum moisture content.

As a guideline, grasses should be harvested just before head emergence with the exception of timothy, which should be fully headed, legumes at the bud to one-tenth bloom stage, wheat, barley, and rye at the firm dough stage of maturity, and oats no later than the milk stage of maturity. The species of crop selected depends on a number of circumstances such as growing conditions, soil, rainfall, crop rotation, type of animals to be fed, and equipment and facilities available for harvesting and preservation. Optimum harvesting time for grasses and legumes is often a compromise between increasing dry matter yield and decreasing digestibility. For lactating dairy cows, maximum digestibility is desirable, whereas for the maintenance of beef cows more emphasis would be placed on maximum yield. Data provided in Tables 2 and 3 give the approximate trends in nutritive value and yields that may be expected at various stages of maturity.

TABLE 2 The feeding value (dry matter basis) of legume forage as influenced by stage of growth at which it is harvested

Stage of growth	Total digestible nutrients %	Crude protein %		Dry matter intake Percentage of body weight
		Grass	Legume	
Vegetative	63	15.2	21.0	3.0
Boot or bud	57	11.3	16.4	2.5
Bloom	50	7.5	11.5	2.0
Mature	44	4.1	7.3	1.5
Regrowth	52	11.3	16.1	2.6

Source: Lovering, J. 1975. Effect of timothy maturity at harvest on feeder cattle ration costs. Can. Farm Econ. 10(2):25-32.

TABLE 3 The protein content and dry matter yield of timothy with increasing maturity

Days from first cut	Crude protein %	Dry matter yield kg/ha
0	15.9	5190
14	14.0	6270
28	10.9	8050
49	9.2	9780

Source: Lovering, J. 1975. Effect of timothy maturity at harvest on feeder cattle ration costs. Can. Farm Econ. 10(2):25-32.

Controlling the moisture content of the material to be ensiled is the most critical characteristic in making high-quality silage and yet it is the most difficult to control. Direct-cut grasses and legumes range from 14 to 18% dry matter, depending on stage of maturity, species, and weather conditions. Ensiling grass, legume, or grass-legume mixtures below 30% dry matter results in valuable nutrients being lost in effluents from tower silos (Table 4).

TABLE 4 Rate of flow (30 days) and chemical composition of silage effluent as influenced by dry matter content of the ensiled forage

	Effluent				
Silage dry matter (DM) %	Flow kg/day	Protein %	Soluble carbohydrates g/L	DM %	Ash % DM
15.7	972	0.72	16.4	4.42	18.9
17.0	408	0.82	19.8	5.06	18.9
20.0	380	1.12	15.5	6.78	17.9
24.4	166	1.42	26.5	8.40	15.4

Source: Fisher, L. J.; Zurcher, P.; Shelford, J. A.; Skinner, L. 1981. Quality and nutrient content of effluent losses from ensiled high moisture grass. Can. J. Plant Sci. 61:307-312.

If the ensilage is low in dry matter, secondary or clostridial fermentation frequently takes place, causing lower dry matter intake and reduced digestibility. Wilting is therefore necessary but it requires an extra field operation with subsequent cost and risk of dry matter loss. Ensiling below 60% moisture in horizontal or vertical concrete silos or below 50% moisture in oxygen-limiting silos limits the degree of compaction possible, and increases the probability of heat damage and of producing a silage with a shorter bunk life. This problem can be particularly acute with silages made from hollow-stemmed cereals, which may require the addition of water at ensiling time to get adequate compaction.

There are moisture meters available for on-site determination of moisture content of forage, but individual instruments should be thoroughly tested before being purchased. A simple hand test and experience can be reliable criteria for assessing forage moisture content.

A handful of chopped forage squeezed into a ball will respond differently, depending on its moisture content.

Forage ball	*Approximate percentage of moisture*
Holds shape; considerable free water	Over 75
Hold shape; very little free water	70–75
Falls apart slowly; no free water	60–70
Falls apart rapidly	Below 60

Ensiling equipment

Forage harvesters may be equipped to pick up a previously cut swath or to direct-cut and chop the forage, using a cylinder-type cutting head, and to blow the chopped material into a following wagon or truck or into an attached trailer. Other types include radial knives and flail chopping devices, which do not provide as uniform a cut and may plug more easily. Radial knives are inconvenient because they have to be removed for sharpening. Power requirement is relatively high for all types. A medium-sized forage harvester requires a 70-kW (95-hp) tractor to drive the power take-off and pull the harvester and storage wagon. Harvesting rates vary between 10 and 14 wet tonnes (4–6 t dry matter) of grass-legume silage per hour, depending on forage yield and field conditions. In chopping grass, legume, or cereal silages it is important to note that the drier the material the finer the chop should be in order to get adequate compaction.

Once chopped, forage boxes of various sorts can be used to transport the chopped forage to the silo. They can be truck or trailer mounted and equipped with a live bottom or a dumping mechanism. The wagons require 22–37 kW (30–50 hp) to pull them, depending on soil conditions and topography. The uniform distribution and packing of the chopped forage are essential regardless of the type of structure. In large tower silos, blowers equipped with a distributor uniformly fill the silo and the weight of the silage packs it. Smaller tower silos benefit by packing. Never enter a silo that is partially filled without first running the blower for at least 30 minutes to drive out toxic gases. A skillful operator and a tractor equipped with a roll bar and dual tires are necessary to pack silage in horizontal silos. Well-packed silage should feel firm underfoot and not spongy.

Silage is removed from silos by a variety of procedures. Tower silos are often unloaded by top unloaders. A suspended rather than a surface riding model is preferable in areas where heavy frost occurs. The unloader must be equipped with chipping wheels and a leveling mechanism when working with frozen silage. An ohm meter assists the operator in keeping an unloader operating efficiently without overloading the motor. Bottom unloaders facilitate continuous-feeding systems, because feeding can continue while the silo is being filled. They are expensive to repair and do not function properly if silage is below 30% dry matter.

Horizontal silos may be unloaded with a sturdy front-end loader bucket, preferably equipped with a grapple fork. Care should be taken to keep the face of the silage tight. Commercial unloaders that are designed to cut vertical slices of silage and blow it into a forage box but leave the face of the silage firm cause less wastage than other feeding-out procedures. Horizontal silos allow the flexibility of self-feeding, using either an electric fence or feeding gate to control the cattle. A self-feeding system reduces equipment and energy requirement and if properly managed is the most efficient system for utilizing the silage. Self-feeding horizontal silos should be sheltered from snow and rain, and should have a concrete floor and apron so that manure can be scraped away to an accessible storage area.

A mechanized system is generally used to feed silage to livestock. This system may either be in the form of a self-unloading mixing wagon, or truck, or a mechanical bunk feeder, or a combination of both. A mixing wagon provides an effective means of incorporating grain or supplements into a forage ration and can be equipped with scales, which allow for the accurate formulation of complete feeds. This system also allows silage to be fed at locations that cannot be serviced by a conveyor system.

A mechanical feed bunk may be used in conjunction with a tower silo. A screw conveyor, or auger, is an appropriate mechanism, although that system will not move long hay or straw and has a high requirement for power compared to other systems such as chains, paddles, and oscillating or vibrating conveyors.

Silages as feedstuffs

Grass and legume silages Legumes generally tend to be low in soluble carbohydrate content and have a high buffering capacity. Crops such as alfalfa should be ensiled with acid-producing additives or should be grown and ensiled as grass-legume mixtures. The preservation of grass and legumes as silages results in a reduction in feeding value when compared with fresh grass. This depreciation in feeding value is partly through effects on voluntary intake and partly through a wastage of nutrients by the metabolic conversions that occur during the fermentation process. As happens when forage is preserved as hay, nutritive value and voluntary intake drop sharply if there is a reduction in quality during the preservation process. It is more difficult to estimate visually the quality of silage than of hay. The identification of the appropriate chemical analyses that will assist in the estimation of silage quality is a major requirement. Dry matter content should be corrected for loss of volatile compounds. Acid detergent fiber and lignin contents are used to estimate maturity and digestibility, and various nitrogen fractions can be used to estimate heat damage. These chemical parameters can all be used to predict the nutrient value of silages.

The intake of silages has been correlated with silage dry matter content, pH, ammonia concentration, and total acidity, but consistent relationships have not been reliably measured. Partial neutralization with sodium bicarbonate at feeding time has improved intake of corn silages but not of grass or legume silages. As with other methods of forage preservation, silages with low levels of protein or phosphorus will not be consumed as readily or digested as completely as silages with adequate levels of those components.

In comparing the feeding value of silages to hay (weight per weight) the major difference is in water content. Hay has only 10–15% moisture (85–90% dry matter), whereas silages range from 50 to 80% moisture (20–50% dry matter). Therefore one must feed up to five times as many kilograms of silage to obtain an intake of dry matter that is equivalent to the amount of hay fed. For example, 10 kg of hay containing 10% moisture would provide 9 kg of dry matter, whereas a total of 45 kg of silage containing 80% moisture would have to be fed to provide the same quantity of dry matter. Numerous research findings have shown that dry matter intake rises by about 1% for

each 1% increase in the dry matter content, at least in silages containing between 15% and 35% dry matter. The intake increases very little for silages with a higher dry-matter content. However, as the dry matter of forages increases, their digestibility falls slightly; forages with a higher moisture content are often more digestible because they are less mature.

The quantity of grain added to silages generally has a positive effect on total intake and milk yield. The data presented in Table 5 are based on results from the Agassiz Research Station and the Animal Research Centre in Ottawa. The table shows how choice of forage and grain intake affect milk yield.

TABLE 5 The intake of grass and legume silages by lactating cows

Type of silage	Dry matter %	Protein %	Silage DM intake kg/day	Grain DM intake kg/day	Milk yield kg/day
Sorghum sudan grass	23.0	8.5	9.2	4.7	17.2
Alfalfa	27.8	19.3	9.9	4.8	21.3
Orchard grass	21.8	16.0	11.1	9.6	28.7
Rye grass	22.2	12.8	9.2	9.2	27.6
Orchard grass and white clover	22.6	19.6	13.0	6.2	25.0

Grass, grass legume, or legume silages are suitable for all classes of ruminants over 6 months of age.

Cereal silages It is convenient for many livestock producers to harvest cereals as silages. Cereals are different from grasses and legumes in that, with the exception of oats, maximum quality occurs when the grain is approaching maturity. Care has to be taken to properly ensile cereals, because the moisture content may be low. Fine chopping and careful packing are essential. During the ensiling process, water should be added to assist compaction if the dry matter exceeds 40% in a bunker silo or 50% in a tower silo.

The protein of cereal silages is generally lower than the protein content of grasses, and in terms of the supplements required cereal silages should be treated in the same manner as corn silage. Special attention has to be given to the addition of protein and calcium to a ruminant ration based on cereal silage. The digestibility, or feeding value, of cereal silage depends on the amount of straw that is included with the head when it is chopped. The basic purpose of cereal silage is to maximize dry matter yield by utilizing the whole plant, while at the same time reducing the harvesting of grain and straw to one operation. There is a tendency with many feedlot operators to use head chop silage. Head chop barley is usually harvested at the medium dough stage

of maturity. The ensilage will have approximately 50% dry matter in the form of 50% kernels and 50% chaff and straw by weight. Crude protein content may be as high as 13%, depending on type of growing season and variety grown. Cereal silage can result in excessive weight gains in dry cows and replacement heifers. A number of feeding trials with cereal silages were done at the Animal Research Centre and a brief summary of the results are provided in Table 6. The Department of Animal and Poultry Science at the University of Saskatchewan has also conducted a number of studies on cereal silages and those results are summarized in Appendix B.

The intake of cereal silages by dairy cows varied with the quality of silage, the amount of grain fed, and the level of production, but generally speaking the firm dough stage of maturity provided the highest energy intake. It should be remembered that winter wheat is low in protein and that protein content of cereals decreases with increasing maturity; therefore appropriate supplements are required.

Conclusions

Improved ensiling procedures and mechanized feeding systems have made the preservation of forages as silage a popular means of using grass, legume, and cereal crops.

Compared with haymaking, ensiling reduces wilting time and the risk of field losses, but it generally involves higher machinery and storage costs.

Among the various structures available for storing silage are conventional concrete tower silos, concrete or steel oxygen-limiting tower silos, horizontal bunker silos, and polyethylene-covered stacks. Generally, the most expensive structures (oxygen-limiting silos) best preserve the quantity and quality of forages. It is important to check whether the increased value of the forage justifies the additional storage costs.

Additives give variable results and are not necessary when ensiling is done properly. Crops should be cut at optimum maturity, wilted to 30% or 40% dry matter (for hay crops) or moistened, if necessary (for drier whole cereals), and finely chopped. The silo should be filled quickly, then carefully sealed. In rainy areas where wilting is difficult, the addition of formic acid is the best way of storing high-moisture silage.

The feeding value and chemical characteristics of silage are variable, depending on the type of forage and fermentation process. To obtain maximum benefit from feeding silages, quality should be monitored by standard laboratory procedures and appropriate supplements used in conjunction with silage feeding programs.

TABLE 6 The dry matter intake, acid detergent fiber, protein, and digestibility of cereal silages

Cereal	Dry matter %	Dry matter intake kg/day	Acid detergent fiber %	Protein %	Digestibility		Milk yield kg/day
					DM %	Protein %	
Oat silage							
milk	31.9	10.1	33.5	14.4	64.8	67.0	18.2
soft dough	36.6	11.6	34.2	10.5	58.5	62.2	19.4
Winter wheat							
milk	32.6	13.2	34.5	8.3	55.8	54.5	15.2
soft dough	38.5	13.1	30.3	7.0	53.7	51.6	14.8
firm dough	40.2	14.0	27.4	7.2	56.6	53.2	15.9
Triticale	33.1	9.3	32.5	12.8	56.6	—	21.4
Barley							
milk	22.8	9.7	26.4	16.4	59.4	—	18.7
soft dough	30.8	11.0	28.0	11.3	59.0	—	17.9
firm dough	45.8	10.6	30.2	9.8	55.9	—	18.5
Rye, preheading	23.9	7.4	43.4	8.5	53.0	46.1	14.6

APPENDIX A

Annual costs for storage of 168 t of potential dry matter in the field

Costs	Concrete oxygen-limiting tower silo 6 × 21 m	Conventional concrete tower 6 × 21 m	Bunker silo 9 × 36 × 3 m
	$	$	$
Silo	45 000.00	30 000.00	15 000.00
Unloader	15 000.00	7 000.00	4 000.00
Annual capital cost (12%/yr)*	7 200.00	4 440.00	2 280.00
Unloader maintenance (4%/yr)	600.00	280.00	160.00
Total annual cost per tonne of dry matter	46.43	27.86	14.52
Field losses	10%	8%	8%
Storage losses	5%	10%	15%
Cost of losses per tonne of potential dry matter ($80/t)†	12.00	14.40	18.40
Unadjusted annual cost (dollars per tonne of dry matter)	58.43	42.26	32.92
Use factor‡	1.5 times	1.25 times	1.25 times
Annual cost adjusted for use (dollars per tonne of dry matter)	38.95	33.81	26.34

* Annual capital cost is calculated according to the following annuity formula: $i(1 + i)^n / |(1 + i)^n - 1|$. Here we assumed a period of 20 years ($n = 20$) and an interest rate of 10% ($i = 0.10$).

† Forage value is given in dollars per tonne of dry matter. A value of $80/t of dry matter is equivalent to $64/t of hay at 20% moisture, to $40/t silage at 50% moisture, and to $16/t of silage at 80% moisture.

‡ The use factor is the number of times that a silo can be filled per season.

APPENDIX B

Summary of nutritive value of cereal silages

		Silage composition as percentage of dry matter					
	Percentage of dry matter	Crude protein	Ash	Lignin	Neutral detergent fiber	Acid detergent fiber	Voluntary intake kg/day
BARLEY							
Bonanza	31.2 (22.7–35.2)*	13.1 (12.0–15.2)	8.1 (7.9–8.3)	6.4 (4.7–7.5)	58.2 (57.4–59.0)	30.4 (25.2–34.4)	4.2 (2.2–5.9)
Hector	31.0	14.3	—	—	—	—	4.3
WHEAT							
Fielder	52.6	10.7	—	—	—	33.1	4.7
Glenlea	39.4 (37.9–41.3)	13.0 (12.4–13.3)	6.8 (6.7–6.9)	7.8 (6.9–8.8)	56.5 (52.3–60.8)	32.7 (29.7–35.9)	4.5 (3.5–5.0)
Lenhi	39.1	13.1	5.9	8.0	53.7	35.1	2.9
Neepawa	43.5 (41.9–45.0)	12.7 (12.4–13.0)	— —	— —	— —	33.0 —	5.4 (5.3–5.5)
Pitic-62	37.9 (37.2–38.6)	12.7 (11.9–13.4)	7.6 (6.5–8.7)	6.8 (6.4–7.3)	55.0 (54.8–55.1)	33.7 (33.3–34.1)	2.7 (2.3–3.0)
Sinton	44.2	11.1	—	—	—	37.7	3.3
Wascana	38.4 (37.2–39.6)	12.8 (12.7–12.9)	7.2 —	7.5 —	58.2 —	35.1 —	3.3 (2.3–4.3)

APPENDIX B

Summary of nutritive value of cereal silages (concluded)

	Percentage of dry matter	Silage composition as percentage of dry matter					Voluntary intake kg/day
		Crude protein	Ash	Lignin	Neutral detergent fiber	Acid detergent fiber	
OATS							
Fraser	36.5 (33.9-37.8)	11.0 (10.4-11.6)	7.8 (7.4-8.2)	7.0 (6.5-7.5)	57.1 (52.1-62.2)	31.2 (31.1-31.2)	4.3 (3.4-5.1)
Hudson	43.0	11.0	—	—	—	32.1	4.9
Random	40.1 (36.4-43.7)	11.3 (10.8-11.7)	—	—	—	32.8	5.2 (5.1-5.2)
			—	—	—	—	
1863-4	36.5	10.8	6.0	7.9	52.9	33.3	4.1

* Indicates range of value observed.

Data courtesy of D. A. Christianson and G. M. Stacey, Department of Animal and Poultry Science, University of Saskatchewan, 1981.

APPENDIX C

Approximate dry matter capacity (tonnes) of tower silos

Height m	Diameter m										
	3.0	3.7	4.3	4.9	5.5	6.1	6.7	7.3	7.9	8.5	9.1
6.1	7	11	14	19	24	30	36	43	51	59	67
7.3	10	14	19	24	31	39	47	55	66	76	88
8.5	12	17	24	32	40	48	58	69	82	94	108
9.8	14	21	29	37	47	59	71	84	99	115	132
11.0	17	25	34	44	56	69	84	99	117	136	156
12.2	20	29	40	52	65	81	97	115	136	157	180
13.4		34	45	59	74	92	112	133	156	181	208
14.6		38	51	67	84	104	127	151	177	205	236
15.8			58	75	95	117	142	169	199	230	264
17.1			64	84	106	131	158	188	220	256	294
18.3			71	92	117	144	174	207	248	280	324
19.5					129	158	190	227	270	308	355
20.7					141	172	207	247	294	336	386
21.9								266	318	363	416
23.2								285	341	387	444
24.4								303	356	413	472

Note: Capacity is calculated to allow 0.3 m settling for the top 10 m and 1 m settling per 10 m depth for all silage underneath.

To calculate the total wet mass, the dry matter is multiplied by the factor 100/(100 − mc) where mc is the moisture content on a wet basis (%).

Source: American Society of Agricultural Engineers Yearbook, St. Joseph, Michigan. 1983.

APPENDIX D

Approximate dry matter capacity (tonnes) of packed horizontal silos

Silo width m	Silo wall height m	Silo length m				
		20	24	30	36	50
9	3.0	96	119	153	187	266
	3.6	117	145	188	231	331
	4.2	137	172	224	276	398
12	3.0	129	159	204	249	355
	4.2	183	230	299	369	531
	5.4	237	301	399	496	723
15	4.8	263	332	435	539	781
18	4.8	315	398	523	647	937

To calculate the total wet mass, the dry matter is multiplied by the factor 100/(100 − mc) where mc is the moisture content on a wet basis (%).

Ensilages de graminées, de légumineuses et de céréales pour ruminants

Agriculture Canada

Publication 1786/F

Canada

Ensilages de graminées, de légumineuses et de céréales pour ruminants

L.J. Fisher
Station de recherches d'Agassiz (C.-B.)

J.A. Robertson
Station de recherches de Melfort (Sask.)

Philippe Savoie
Station de recherches de Sainte-Foy (Québec)

PUBLICATION 1786/F, on peut obtenir des exemplaires à la Direction générale des communications, Agriculture Canada, Ottawa K1A 0C7

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1985
N° de cat. A63-1786/1985F ISBN: 0-662-92979-9
Impression 1985 4M-5:85

Also available in English under the title
Grass, legume, and cereal silages for ruminants.

Table des matières

Introduction/5
Ensilage : avantages et désavantages/5
En quoi l'ensilage diffère-t-il des autres aliments du bétail?/6
Genre de silos/9
Additifs/11
Équipement et conditions de récolte/13
Équipement nécessaire à l'ensilage/14
Les ensilages comme aliments du bétail/18
Conclusions/21
Annexes/23

FACTEURS DE CONVERSION VERS LE SYSTÈME MÉTRIQUE

Unités impériales	Facteur de conversion	Résultat en	
MESURES DE LONGUEUR			
pouce	x 25	**millimètre**	**(mm)**
pied	x 30	**centimètre**	**(cm)**
verge	x 0,9	**mètre**	**(m)**
mille	x 1,6	**kilomètre**	**(km)**
MESURES DE SURFACE			
pouce carré	x 6,5	**centimètre carré**	**(cm^2)**
pied carré	x 0,09	**mètre carré**	**(m^2)**
acre	x 0,40	**hectare**	**(ha)**
MESURES DE VOLUME			
pouce cube	x 16	**centimètre cube**	**(cm^3)**
pied cube	x 28	**décimètre cube**	**(dm^3)**
verge cube	x 0,8	**mètre cube**	**(m^3)**
once liquide	x 28	**millilitre**	**(mL)**
chopine	x 0,57	**litre**	**(L)**
pinte	x 1,1	**litre**	**(L)**
gallon	x 4,5	**litre**	**(L)**
MESURES DE POIDS			
once	x 28	**gramme**	**(g)**
livre	x 0,45	**kilogramme**	**(kg)**
tonne courte (2000lb)	x 0,9	**tonne**	**(t)**
MESURE DE TEMPÉRATURE			
degrés Fahrenheit	(°F-32) x 0,56 ou (°F-32) x 5/9	**degrés Celsius**	**(°C)**
MESURE DE PRESSION			
livre au pouce carré	x 6,9	**kilopascal**	**(kPa)**
MESURE DE PUISSANCE			
horsepower*	x 746	**watt**	**(W)**
	x 0,75	**kilowatt**	**(kW)**
MESURES DE VITESSE			
pied à la seconde	x 0,30	**mètre à la seconde**	**(m/s)**
mille à l'heure	x 1,6	**kilomètre à l'heure**	**(km/h)**
MESURES AGRAIRES			
gallon à l'acre	x 11,23	**litre à l'hectare**	**(L/ha)**
pinte à l'acre	x 2,8	**litre à l'hectare**	**(L/ha)**
chopine à l'acre	x 1,4	**litre à l'hectare**	**(L/ha)**
once liquide à l'acre	x 70	**millilitre à l'hectare**	**(mL/ha)**
tonne à l'acre	x 2,24	**tonne à l'hectare**	**(t/ha)**
livre à l'acre	x 1,12	**kilogramme à l'hectare**	**(kg/ha)**
once à l'acre	x 70	**gramme à l'hectare**	**(g/ha)**
plants à l'acre	x 2,47	**plants à l'hectare**	**(plants/ha)**

*Le horsepower est une unité différente du cheval-vapeur.
Le signe décimal est une virgule.

Introduction

Le présent bulletin décrit le procédé de l'ensilage, ses avantages et ses inconvénients, ainsi que les coûts et les aptitudes de gestion nécessaires pour en faire un moyen efficace de conservation et d'utilisation des éléments nutritifs des fourrages. Nous espérons que ces informations élémentaires guideront les agriculteurs et les vulgarisateurs dans leur évaluation des systèmes d'ensilage les mieux adaptés à chaque entreprise agricole. L'ensilage des fourrages est l'une des nombreuses méthodes de conservation des éléments nutritifs servis aux ruminants logés à l'intérieur. Avant de choisir un système de conservation particulier, nous suggérons de comparer les avantages et les inconvénients des principaux systèmes disponibles dans votre région : ensilage humide, ensilage préfané ou demi-sec, et foin.

Ensilage : avantages et désavantages

L'ensilage se pratique depuis très longtemps, mais n'est devenu une méthode importante de conservation des fourrages qu'au cours des 20 dernières années. On a estimé que le pourcentage de graminées fourragères conservées par ensilage n'atteignait que 12 à 15 % au Royaume-Uni en 1968, alors qu'en 1979, il avait grimpé à 45 %. Cette tendance, également observée en Amérique du Nord, découle du fait qu'on s'inquiète de plus en plus des pertes causées dans les champs par les multiples manipulations du fourrage lors du fanage naturel et par la baisse de la teneur en éléments nutritifs et la détérioration du fourrage lorsque la récolte de l'andain est retardée en raison du mauvais temps. Il peut également y avoir des pertes considérables pendant l'entreposage du foin si la teneur en humidité du produit récolté est trop élevée ou si le produit séché n'est pas entreposé à l'abri. La disponibilité de distributeurs mécaniques de l'ensilage a été un autre facteur important qui a favorisé l'utilisation de l'ensilage comme technique de conservation.

Parmi les avantages de l'ensilage, citons les suivants :

1. L'ensilage réduit au minimum la période de fanage et le risque de voir les fourrages coupés soumis aux conditions inclémentes. Ainsi, l'ensilage raccourcit la période de récolte, augmente la quantité de produits récoltés à leur valeur nutritive optimale et laisse plus de temps pour le regain. L'ensilage est particulièrement avantageux pour les cultures annuelles qui atteignent la maturité à la fin de l'été, alors que les conditions pour le fanage sur place sont moins favorables qu'en juin ou juillet.

2. Les entreprises modernes d'élevage intensif du bétail ont besoin de grandes quantités d'aliments et l'ensilage est un excellent moyen de répartir sur plusieurs mois la récolte de cultures parvenues à leur valeur nutritive optimale. Il s'agit de choisir avec soin des mélanges de graminées et de légumineuses vivaces, des céréales annuelles qui arrivent à maturité à des dates différentes et d'échelonner les dates d'ensemencement des plantes annuelles.

3. Les produits végétaux ensilés n'exigent pas d'autres transformations, se mélangent uniformément à d'autres aliments du bétail et conviennent aux distributrices mécaniques d'aliments.

4. L'ensilage permet de récupérer les cultures endommagées par la grêle ou le gel. En outre, lorsque les mauvaises herbes envahissent les cultures, on peut faire la récolte avant qu'elles ne dispersent leurs graines.

5. Il y a moins de pertes à la mangeoire.

6. Les risques d'incendie sont minimes avec l'ensilage dans la mesure où on évite d'ensiler des fourrages trop secs (plus de 60 % de matière sèche).

L'ensilage compte également plusieurs désavantages

1. L'ensilage exige des entrepôts spéciaux. Toutefois, on peut également entreposer de l'équipement dans les silos couloirs et des céréales dans les silos verticaux.

2. Au moment de la reprise, l'ensilage a une courte durée de conservation à cause du développement de moisissures, s'il est exposé à l'air pendant plusieurs jours. Ainsi, il ne se prête pas facilement à la vente à l'extérieur de la ferme. De plus, l'ensilage coûte plus cher à transporter que le foin en raison de sa teneur en eau élevée.

3. Les animaux nourris à l'ensilage ingèrent généralement moins de matière sèche que ceux mis au pâturage ou nourris au fourrage vert haché ou au foin.

4. En cas de mauvaise utilisation, les pertes à l'entreposage pourront annuler la réduction des pertes au champ.

5. L'ensilage exige une main-d'œuvre abondante pendant la récolte, car il faut remplir rapidement le silo.

6. L'investissement dans la machinerie est relativement élevé.

7. Le gaz produit dans les silos, le bioxyde d'azote, est dangereux pour la santé. C'est un gaz toxique produit au cours des premières heures suivant l'ensilage. Il risque d'être présent à une concentration dangereuse surtout lorsque les cultures ensilées ont une teneur élevée en azote nitrique. Comme le nitrate s'accumule dans la partie végétative de la plante, et non dans les graines, ce sont les ensilages de céréales entières immatures ou ceux de graminées et de légumineuses cultivées sur une terre fortement fertilisée qui produisent le plus souvent ce gaz toxique dans les silos. Si l'on doit entrer dans un silo vertical peu après son remplissage, on doit prendre soin de toujours aérer l'espace libre au-dessus de l'ensilage en actionnant le ventilateur du souffleur et en ouvrant toutes les portes. On devrait porter un harnais de sûreté et une corde d'assurance, et se faire accompagner d'une personne qui restera à l'extérieur du silo et qui pourra venir en aide au besoin.

En quoi l'ensilage diffère-t-il des autres aliments du bétail?

L'ensilage peut être un aliment du bétail de qualité excellente et uniforme à condition d'être préparé adéquatement. Dans le cas contraire, les animaux qui en sont nourris peuvent afficher un rendement inférieur. La qualité de l'ensilage dépend de nombreux facteurs qui se conjuguent pour créer un milieu favorable à la fermentation; c'est-à-dire :

1. Le stade de maturité, qui détermine les teneurs en glucides solubles, en protéines et en fibre.

2. La teneur en eau, qui dépend du stade de maturité, des conditions atmosphériques et du système de récolte.

3. L'espèce de fourrage.

4. Le type de silo.

5. Les méthodes de tassement et de scellement qui varient selon la finesse du hachage, la teneur en eau, la vitesse de remplissage et l'utilisation de conservateurs d'ensilage (additifs).

6. L'utilisation de l'ensilage, qui demande des compléments et permet des pratiques d'alimentation différentes de celles qu'on emploie avec d'autres aliments.

Cette interaction complexe des facteurs dont dépend la qualité de l'ensilage peut être mise à profit si l'on tient compte des quatre conditions essentielles suivantes :

1. Exclusion de l'air. Un milieu anaérobie est nécessaire à la réussite de la fermentation. Si l'anaérobie est incomplète durant la fermentation, l'ensilage servi aux animaux sera moins appétissant et moins nutritif. L'air peut pénétrer dans l'ensilage lorsque la culture ensilée est trop sèche pour être tassée fermement ou lorsqu'elle est hachée en grosses particules de taille inégale à cause de l'emploi de couteaux émoussés ou mal réglés. Le tassage insuffisant, des parois poreuses, un scellage imparfait ou l'utilisation inadéquate d'un silo étanche sont d'autres causes possibles.

2. Augmentation rapide de l'acidité. On obtient une augmentation rapide de l'acidité en ensilant des cultures à teneur élevée en glucides solubles ou en ajoutant des produits fermentescibles ou des acides. L'acidité élevée est nécessaire à la fermentation par les lactobacilles et à la formation d'un ensilage de qualité, riche en acide lactique. Elle inhibe également les clostridies productrices de l'acide butyrique qui fait rancir l'ensilage et provoque une baisse de l'ingestion de matière sèche. L'acidité est mesurée d'après la concentration d'ions d'hydrogène dans une solution : le pH, qui est inversement proportionnel à cette concentration, varie de 0 à 14 pour des solutions très acides à très basiques. Les fourrages verts sont légèrement acides au départ avec un pH d'environ 6,0; un ensilage bien fermenté sera acidifié avec un pH entre 4,0 et 4,5.

3. Teneur en eau. La teneur en eau est un facteur très important dans la transformation du fourrage en ensilage. Si on songe que les graminées et les céréales récoltées à leur valeur nutritive optimale peuvent respectivement contenir 15 et 45 % de matière sèche, on comprend l'importance de régler la teneur en eau au moment de l'ensilage par préfanage ou addition d'eau. Lorsque l'ensilage est très humide (moins de 30 % de matière sèche), l'acidité augmente lentement et la fermentation dure plus longtemps, ce qui se traduit par une production d'acide et une dégradation des protéines inutilement élevées. En ce qui concerne les graminées, les légumineuses et les céréales ensilées dans des silos couloirs ou dans des structures autres que les silos-tours à atmosphère contrôlée, il suffit d'ensiler les produits à une teneur en matière sèche de 30 à 40 % pour obtenir une fermentation plus stable et une ingestion accrue de matière sèche. L'ensilage de produits trop secs

se traduit généralement par un tassement insuffisant, suivi d'un chauffage excessif qui immobilise les protéines et les rend inutilisables par l'animal. Il peut en résulter un ensilage qui, à l'analyse, montre une concentration en protéine brute élevée, mais ne fournit pas les protéines nécessaires à la production de lait ou de viande.

4. Population de lactobacilles suffisante. Généralement, il y a assez de lactobacilles dans les graminées pour produire de l'acide lactique en présence de produits fermentescibles. La présence d'une trop grande quantité d'air, un produit trop mature ou trop sec, ou un fourrage très froid et humide peuvent cependant freiner l'activité des bactéries; on obtiendra alors un ensilage mal conservé et peu appétissant qui ne se gardera pas longtemps dans la mangeoire.

Il faut connaître les diverses étapes de la fermentation pour maîtriser efficacement les nombreux facteurs qui influent sur la qualité de l'ensilage.

Dans un premier temps, la respiration continue des cellules végétales, caractérisée par la production de gaz carbonique et par l'utilisation de l'oxygène présent dans la masse ensilée, favorise l'anaérobiose. Cette étape est plus courte dans les silos verticaux que dans les silos couloirs et lorsque le silo est rempli rapidement, c'est-à-dire, dans une période de 5 à 15 h. Une exposition prolongée de la surface de l'ensilage favorise la croissance des moisissures et des levures, et provoque une dégradation considérable des protéines végétales en azote libre et un dégagement excessif de chaleur. Si la température dépasse 35 °C, les fourrages ensilés risquent d'être endommagés par l'échauffement, lequel provoque une perte de digestibilité des protéines et des glucides.

Dans un deuxième temps, une courte période de production d'acide acétique par les bactéries coliformes se termine par une chute rapide du pH.

La troisième étape est caractérisée par le début de la production d'acide lactique grâce à la prolifération des lactobacilles et des streptocoques. Elle commence habituellement après 2 ou 3 jours. Plus elle est précoce, moins il y aura de pertes d'énergie et plus la teneur en éléments nutritifs de l'ensilage sera élevée. La teneur en acide lactique doit atteindre entre 4 et 5 % de la teneur en matière sèche de l'ensilage, le pH doit baisser jusqu'à 4,0 ou 4,5 après quoi, si l'anaérobie est maintenue, la fermentation cesse.

Il peut y avoir une quatrième étape si l'acidité n'est pas assez élevée pour empêcher les clostridies de convertir les glucides solubles et l'acide lactique déjà formé en acide butyrique. Il s'agit là d'une phase de détérioration qui commence environ 8 jours après l'ensilage et qui se solde par la production de gaz ammoniac à partir des protéines et par la perte d'énergie sous forme de gaz carbonique et de chaleur, en particulier si l'ensilage n'est pas tassé ou scellé adéquatement ou s'il est trop humide.

Une cinquième étape de la fermentation, qui se produit parfois à la reprise, est surtout importante dans les ensilages plus secs ou moins acides, ou dans ceux qui ne sont pas retirés assez rapidement du silo par temps plus chaud. Elle est caractérisée par la croissance de moisissures et de levures aboutissant à une production de chaleur, à une perte de digestibilité et surtout à une diminution de l'appétibilité causée quelquefois par des toxines élaborées par les moisissures ou les champignons.

En résumé, la fermentation de l'ensilage est une production rapide d'acide en condition d'anaérobiose; elle dépend de la teneur en eau et en glucides solubles et de la résistance du fourrage à l'acidification (effet tampon).

Genre de silos

On peut choisir un silo parmi plusieurs modèles de base et leurs variations, compte tenu des ressources disponibles et du système d'alimentation souhaité. Chaque type de silo a ses limites pour ce qui est de la teneur en eau des produits à ensiler. Par exemple, lorsque les fourrages ensilés ont une teneur en eau supérieure à 75 %, il peut y avoir écoulement des jus d'ensilage et endommagement de la structure des silos tours par les acides. À l'opposé, les silos couloirs sont mieux adaptés à l'ensilage à teneur en eau élevée, mais le produit doit être tassé et scellé avec soin si la teneur en eau est inférieure à 65 %.

Pour un niveau de gestion donné, les pertes d'ensilage sont inversement proportionnelles au coût en capital de la structure (tableau 1). Les pertes en matière sèche dépendent aussi de la compétence en gestion ou des soins apportés à la conservation des ensilages.

TABLEAU 1 Pertes de matière sèche (%) pour divers types de silos et niveaux de compétence en gestion.

Type de silo	Teneur en eau (%)	Pertes au champ (%)	Pertes à l'entreposage (%) et compétence en gestion	
			Élevée	Faible
Silo tour à atmosphère contrôlée	40–60	6–12	3	8
Silo tour en béton	55–70	3–9	5	15
Silo couloir horizontal	60–85	2–8	9	20
Silo fosse	60–85	2–8	12	25
Meule couverte	60–85	2–8	15	40

Avant de choisir le silo qui vous convient, il faut tenir compte du coût annuel relatif par tonne de matière sèche entreposée. L'annexe A montre un exemple de calcul de ce coût pour trois types de silo. Le coût dépend principalement de l'investissement requis, du taux d'intérêt et de la valeur des pertes de matière sèche. Puisque ces données changent dans le temps et selon les régions, il importe de reprendre les calculs pour chaque situation particulière.

Il faut également tenir compte des nombreux avantages et inconvénients de chaque modèle avant de fixer son choix. Certains types de silo ne sont pas compatibles avec tous les genres d'exploitation agricole. Il arrive qu'un producteur habile peut tirer profit d'un silo à coût modeste, alors qu'une personne inexpérimentée aura besoin d'un silo plus coûteux pour obtenir des résultats comparables.

Voici un résumé de certains facteurs dont il faut tenir compte lors du choix d'un silo.

Silo horizontal ou silo couloir C'est le type de silo dont le coût initial en capital est le moins élevé, surtout lorsque de gros tonnages sont en jeu, et qui peut être construit avec les ressources humaines et l'équipement de la ferme. Il convient pour les récoltes et les systèmes de distribution d'aliments d'importance. On peut l'adapter au libre-service en utilisant une barrière ou un fil électrique, en particulier s'il y a un plancher et un tablier pavés; toutefois, ce système limite l'épaisseur de la pile à environ 2 m. Ce genre de silo convient particulièrement à l'ensilage de cultures coupées directement et très humides, car l'écoulement des jus y est moins important que pour un ensilage semblable entreposé dans un silo tour. Les pertes aux champs et le coût du fonctionnement de l'équipement peuvent être moins élevés avec les silos couloirs, si la coupe et le hachage du fourrage peuvent se faire simultanément. Toutefois, il faut beaucoup plus d'habileté et de temps pour limiter les pertes d'entreposage à un niveau acceptable (moins de 10 % M.S.) qu'il n'en faut avec les silos tours, surtout lorsque les ensilages ont une teneur élevée en matière sèche. L'aménagement d'un silo couloir exige plus d'espace et de voies d'accès qu'un silo tour. En outre, il faut plus de main-d'œuvre et d'équipement pour le charger et le décharger. Il faut tenir compte de l'égouttement et des amoncellements de neige lors du choix de l'emplacement d'un silo horizontal. On peut remplir le silo en déchargeant ou en soufflant le fourrage ou en le tassant avec un tracteur. La reprise du produit ensilé peut se faire par chargeur frontal ou avec une désileuse à tambour conçue spécialement pour les silos couloirs. Elle peut également s'effectuer sous forme de libre-service.

Silo tour Les silos tours sont faits de bois ou de béton (en douves ou moulé sur place). Les silos à atmosphère contrôlée sont revêtus de verre ou construits en acier aluminé ou en béton; on les équipe d'une désileuse par le bas ou par le haut. En plus d'être facilement adaptables aux systèmes de distribution mécanique des aliments, les silos tours prennent moins de place et conservent mieux la matière sèche que les silos horizontaux. Dans les silos tours traditionnels à déchargement par le haut, l'ensilage en surface est continuellement exposé à l'air. On obtient les meilleurs résultats en y ensilant des fourrages contenant 30 à 40 % de matière sèche et en prélevant au moins 5 à 10 cm d'épaisseur par jour. Les silos à atmosphère contrôlée réduisent le contact de l'air avec l'ensilage et permettent un écoulement continu des fourrages grâce au déchargement par le bas. Ils occasionnent moins de pertes que les silos tours traditionnels, mais coûtent plus cher à construire et à exploiter. On recommande généralement un fanage plus long pour les fourrages avant de les ensiler en silos à atmosphère contrôlée (une teneur en matière sèche de 40 à 55 %). Ceci peut constituer un désavantage dans les régions où le risque de pluie est élevé au moment de la récolte du fourrage à sa valeur nutritive optimale. Le gel peut également poser des problèmes de reprise avec l'ensilage très humide conservé dans les silos tours. Peu importe le type de silo utilisé, la qualité de l'aliment fermenté ne peut pas être meilleure que la qualité du produit ensilé.

Silo meule On peut conserver le fourrage excédentaire en tas semi-cylindrique, appelé meule. La meule doit être située dans un endroit bien drainé, être formée rapidement, scellée avec une feuille de plastique épaisse

(au moins 150 μm ou 6 millièmes de pouce) retenue par des pneus, des balles ou du sable et située dans une zone bien drainée. Les pertes sont moins élevées dans les régions à faible pluviosité et à basse température; il est préférable d'utiliser le produit pendant les saisons plus fraîches. Sur certaines fermes du nord-ouest québécois, les silos meules sont utilisés avec succès pour la conservation de l'ensilage des graminées. Ils représentent un système d'entreposage peu coûteux en investissement mais assez exigeant au niveau de la gestion pour éviter des pertes excessives pendant la conservation et l'alimentation.

Silo « boudin » L'entreposage dans un silo « boudin » coûte cher, mais la fermentation y est excellente lorsque les sacs de plastique restent bien scellés. En outre, le système est assez souple pour permettre les travaux à forfait lorsque les tonnages en cause sont relativement faibles. Les réparations et l'entretien sont minimes et on peut y entreposer de l'ensilage dont la teneur en matière sèche varie beaucoup (de 20 à 50 %). Par contre, ce système comporte plusieurs inconvénients : il prend beaucoup de place; la neige et la gelée peuvent poser des problèmes et les sacs de plastique ne sont pas réutilisables. En outre, comme avec les systèmes originaux il fallait énormément de temps pour remplir les sacs, le chantier de récolte en était ralenti; avec les systèmes plus récents, cependant, l'utilisation de sacs déjà pliés a permis de les remplir en quelques minutes. En général, un silo « boudin » est déchargé avec un chargeur frontal, mais il peut être conçu pour le libre-service. Une fois le silo ouvert, l'ensilage doit être utilisé rapidement pour éviter les pertes par moisissure, s'il contient plus de 40 % de matière sèche.

Ensilage en balles Bien que plusieurs modèles de grosses presses fassent des balles à haute densité propices à la fermentation, certains modèles plus anciens, équipés de rouleaux d'écrasement, peuvent causer des ennuis si le produit très humide s'enroule autour des rouleaux. Pour obtenir un bon ensilage, les balles doivent être uniformes, de densité égale et contenir idéalement entre 25 et 35 % de matière sèche. Il faut bien sceller les balles pour éviter que des moisissures se développent autour des bords de chaque balle. Si les balles ne sont pas denses, elles peuvent être lourdement endommagées par l'échauffement et sujettes à des pertes de matière sèche. Il faut les utiliser avant le retour du temps chaud. Les balles doivent mesurer au plus 1,2 m de diamètre parce qu'elles sont très humides et plus denses que le foin. Il faut les entasser sur un terrain bien drainé en laissant le moins d'espace possible entre elles, les couvrir et les sceller le même jour. On doit les utiliser dans les jours qui suivent immédiatement l'ouverture de l'enveloppe.

Additifs

À la lumière de la grande diversité des résultats obtenus avec l'ensilage, il semble primordial de mettre au point des méthodes plus fiables. Bien que les additifs améliorent la qualité de l'ensilage, il est important de savoir à quel moment ils sont utiles et quand ils constituent une dépense superflue. La teneur en eau de la culture au moment de l'ensilage est le principal facteur qui détermine l'utilité d'un additif. Il faut également tenir compte du

type de produit ensilé. Il est généralement reconnu que les additifs n'améliorent pas la fermentation de l'ensilage de maïs, mais qu'ils peuvent favoriser la fermentation d'autres cultures. On peut classer les ensilages en trois grandes catégories selon leur teneur en eau : les ensilages très humides contenant entre 70 et 85 % d'humidité, les ensilages préfanés contenant entre 60 et 70 % d'humidité (de 55 à 65 % dans les silos tours dont le diamètre est supérieur à 6,5 m) et les ensilages demi-secs contenant entre 40 et 60 % d'humidité. On recommande l'emploi d'un additif favorisant la production d'acide avec les ensilages très humides. L'utilisation d'un additif n'améliore la qualité de l'ensilage préfané que dans les cas où ce dernier est mal fabriqué et où le silo n'est pas suffisamment étanche ou qu'il est mal scellé.

Lesquels choisir ? Il y a actuellement une vaste gamme d'additifs disponibles sur le marché au Canada. Les principaux types sont les acides, les agents de sapidité, les antioxydants, les cultures bactériennes, les enzymes, les stérilisants, les antibiotiques et les aliments. Nombre d'entre eux favorisent légèrement la fermentation de l'ensilage, mais peu sont vraiment fiables.

Certains aliments, notamment la mélasse et les céréales, augmentent la teneur en éléments nutritifs de l'ensilage et fournissent une source de glucides fermentescibles qui font accélérer le processus de fermentation. En fait, une partie des éléments nutritifs est perdue au cours de la fermentation et on doit évaluer cette perte par rapport à la valeur nutritive d'aliments pareils servis directement aux animaux. D'autres aliments, notamment la pulpe de betterave, les céréales sèches ou le foin haché, peuvent réduire efficacement l'écoulement d'effluent et améliorer la fermentation de l'ensilage très humide. L'addition d'urée à l'ensilage de maïs (environ 4 kg/t) permet d'en accroître la teneur en azote.

Au cours des dernières années, on a utilisé de nombreux produits chimiques pour favoriser une fermentation adéquate dans les silos. L'ajout d'acide formique, à raison de 3 à 4 kg par tonne de poids vert d'ensilage (2 % du poids sec), abaisse le pH et empêche la fermentation secondaire dans les ensilages de graminées très humides. Des quantités de 4 à 5 kg par tonne sont requises pour l'ensilage des légumineuses. L'emploi d'un appareil à mesurer le pH est recommandé en vue de s'assurer que la quantité d'acide appliquée soit suffisante pour abaisser le pH du fourrage traité jusqu'à 4,2 sans toutefois aller plus bas que 4,0. Comme le produit est corrosif, les préposés doivent porter des gants de caoutchouc, des tabliers et des lunettes de protection lorsqu'ils mélangent les solutions d'acide formique et en remplissent les applicateurs, et laver l'équipement après chaque utilisation. De nombreuses études menées en Europe, aux États-Unis et au Canada ont révélé que l'addition d'acide formique à l'ensilage non fané (contenant entre 18 à 26 % de matière sèche) augmente de 4 à 8 $ par tonne (matière humide) la valeur nutritive de l'ensilage en améliorant la digestibilité, l'ingestion et l'efficacité de l'utilisation du fourrage. On a utilisé un mélange de formaldéhyde et d'acide formique pour empêcher la dégradation de la fraction protéique du fourrage en azote non protéique. Des agents de conservation liquides à base d'acide propionique ont réduit la perte d'éléments nutritifs mais leur utilisation n'est pas commode.

Diverses entreprises offrent des additifs en poudre afin de profiter des avantages d'une baisse rapide du pH de l'ensilage tout en éliminant les problèmes liés à la manipulation de liquides corrosifs. Les réactions du bétail nourri aux ensilages traités avec ces poudres sont tellement variables que très peu de ces additifs sont présentement homologués au Canada. Ce sont des cultures de lactobacilles, dont les unes sont viables et les autres, non viables. On peut classer les additifs commerciaux en trois catégories : les sels de métabisulfite de sodium, conçus spécialement pour réagir avec l'eau des graminées très humides afin de produire de l'acide et d'abaisser le pH; les mélanges enzymatiques qui stimulent apparemment la fermentation et la production d'acide lactique; les cultures déshydratées de lactobacilles qui favorisent la production d'acide lactique.

En général, la réaction du bétail aux ensilages traités avec les deux dernières catégories d'additifs n'est pas meilleure que celle obtenue avec les ensilages non traités, quoique l'on ait noté une certaine hausse de la production d'acide lactique et des températures de fermentation. La première catégorie d'additifs a par contre permis de réduire l'altération en surface et d'améliorer l'appétibilité des ensilages très humides.

Chaque additif devrait être examiné isolément. Les résultats obtenus avec la plupart des additifs sont variables. La qualité de la gestion des cultures, leur maturité, l'espèce, la teneur en matière sèche du fourrage, le type de silo utilisé et les conditions météorologiques sont autant de facteurs qui peuvent influer sur l'efficacité de ces produits.

Lorsqu'un ensilage est bien fait, il y a peu d'avantages à ajouter des additifs. On devrait considérer l'emploi d'additifs seulement dans le cas où il est difficile de satisfaire à toutes les conditions de réussite d'un ensilage. Au Canada, la condition la plus difficile à satisfaire est sans doute le préfanage dans les régions pluvieuses. C'est dans ces conditions que l'utilisation des additifs pourrait s'avérer utile.

Équipement et conditions de récolte

La plupart des grandes cultures et certains résidus se prêtent à la conservation par ensilage. L'appétibilité d'aliments médiocres est accentuée par la fermentation, alors que les fourrages luxuriants ont tendance à perdre de la saveur. L'ensilage n'améliore pas la valeur nutritive des produits ensilés, peu importe la structure du silo ou l'additif utilisé. Il est donc important de récolter les fourrages lorsqu'ils atteignent leur maturité optimale et de les ensiler à une teneur en eau optimale.

Règle générale, il faut récolter les graminées juste avant l'épiaison, à l'exception de la fléole dont l'épiaison doit être complète. Les légumineuses se récoltent du bourgeonnement jusqu'au dixième de la floraison; le blé, l'orge et le seigle, au stade pâteux et ferme, et l'avoine, pas plus tard qu'au stade laiteux. Le choix de l'espèce dépend de nombreux facteurs, notamment les conditions de croissance, le sol, la pluviosité, la rotation des cultures, le type d'animal à nourrir ainsi que l'équipement et les installations disponibles pour la récolte et la conservation. Le temps optimal pour la récolte des graminées et des légumineuses est souvent un compromis entre l'accroissement du rendement en matière sèche et la diminution de la digestibilité. Il est préférable

de servir aux vaches en lactation des aliments dont la digestibilité est maximale, alors que pour l'entretien des génisses de boucherie, on pourrait favoriser des aliments à rendement maximal. Les tableaux 2 et 3 donnent une idée approximative de la valeur nutritive et des rendements auxquels on peut s'attendre à divers stades de maturité.

La teneur en eau de la culture à ensiler est à la fois le facteur le plus important et le plus difficile à maîtriser dans la fabrication d'ensilage de qualité supérieure. La teneur en matière sèche des graminées et des légumineuses coupées directement peut varier entre 14 et 18 %, selon le stade de maturité, l'espèce et les conditions atmosphériques. L'ensilage de graminées, de légumineuses ou de mélanges de graminées et de légumineuses contenant moins de 30 % de matière sèche conduit à des pertes d'éléments nutritifs précieux par écoulement d'effluent dans les silos tours (tableau 4).

Si l'ensilage ne contient que peu de matière sèche, il se produit fréquemment une fermentation secondaire ou clostridienne, laquelle provoque une baisse de l'ingestion de matière sèche et de la digestibilité. Le préfanage est généralement nécessaire, mais ajoute une étape au chantier de récolte entraînant des coûts additionnels et des risques de perte de la matière sèche. L'ensilage contenant moins de 60 % d'humidité dans les silos en béton horizontaux ou verticaux, ou contenant moins de 50 % d'humidité dans les silos à atmosphère contrôlée, limite le degré de tassement possible et augmente le risque d'échauffement et de production d'un ensilage de faible durée de conservation dans la mangeoire. Le problème peut être particulièrement grave avec les ensilages de céréales à tige creuse, auxquelles on devra peut-être ajouter de l'eau au moment de l'ensilage pour obtenir un tassement convenable.

Il existe des doseurs d'humidité pour déterminer sur place la teneur en humidité des fourrages, mais il faut vérifier avec soin la précision de chaque instrument avant de l'acheter. Une simple manipulation et l'expérience sont encore les critères les plus fiables pour évaluer la teneur en humidité des fourrages.

Une poignée de fourrage haché mise en boule réagira différemment selon sa teneur en humidité.

Boule de fourrage	*Pourcentage approximatif d'humidité*
Retient sa forme; écoulement d'eau considérable	plus de 75
Retient sa forme; très peu d'écoulement d'eau	de 70 à 75
Se défait lentement; pas d'écoulement d'eau	de 60 à 70
Se défait rapidement	moins de 60

Équipement nécessaire à l'ensilage

Les récolteuses-hacheuses (fourragères) peuvent être équipées pour ramasser l'andain ou être munies d'un organe de coupe de type cylindrique (faucheuse à fléaux) pour couper directement et hacher le fourrage, et pour souffler le matériel haché dans un chariot, un camion ou une remorque. D'autres machines, pourvues de couteaux radiaux ou d'une barre de coupe

TABLEAU 2 Valeur nutritive (par rapport à la matière sèche) des légumineuses fourragères selon le stade de croissance où elles sont récoltées.

Stade de croissance	Pourcentage d'éléments nutritifs digestibles	Pourcentage de protéines brutes		Valeur de l'ingestion en pourcentage du poids
		Graminées	Légumineuses	
Végétatif	63	15,2	21,0	3,0
Montaison ou bourgeonnement	57	11,3	16,4	2,5
Floraison	50	7,5	11,5	2,0
Maturité	44	4,1	7,3	1,5
Regain	52	11,3	16,1	2,6

Source : Lovering, J., *Effect of timothy maturity at harvest on feeder cattle ration costs*, Can. Farm Econ. 10(2):25-32, 1975.

TABLEAU 3 Teneur en protéines et rendement en matière sèche de la fléole selon la maturité.

Jours écoulés depuis la première coupe	Pourcentage de protéines brutes	Rendement en matière sèche kg/ha
0	15,9	5190
14	14,0	6270
28	10,9	8050
49	9,2	9780

Source : Lovering, J., *Effect of timothy maturity at harvest on feeder cattle ration costs*, Can. Farm Econ. 10(2):25-32, 1975.

horizontale, ne coupent pas aussi uniformément et peuvent provoquer plus facilement du bourrage. Les couteaux radiaux sont désavantageux puisqu'il faut les retirer pour les aiguiser. Tous les types demandent passablement de puissance. La récolteuse-hacheuse de taille moyenne a besoin d'un tracteur de 70 kW pour actionner la prise de force et tirer la récolteuse et le chariot. On peut récolter entre 10 et 14 tonnes de poids vert (de 3 à 6 tonnes de matière sèche) d'ensilage de graminées et de légumineuses à l'heure, selon le rendement en fourrage et les conditions du champ. Pour ce qui est du hachage des ensilages de graminées, de légumineuses et de céréales, il est important de noter que plus le produit est sec, plus le hachage doit être fin pour obtenir le tassement qui convient.

Le fourrage haché peut ensuite être transporté au silo dans les caisses à fourrage de différentes sortes. Ces dernières peuvent être montées sur un camion ou une remorque et être équipées d'un fond amovible ou d'un mécanisme à bascule. Il faut entre 22 et 37 kW pour tirer les chariots, selon les conditions du sol et la topographie. La distribution et le tassement uniformes du fourrage haché sont essentiels, peu importe le type de silo utilisé. Des ensileuses-souffleuses équipées d'un distributeur chargent uniformément les gros silos tours et l'ensilage se tasse sous son propre poids. Cependant, il est plus facile de tasser l'ensilage dans les silos à diamètres plus petits. Il ne faut jamais entrer dans un silo partiellement rempli avant d'avoir fait fonctionner la souffleuse pendant au moins 30 minutes afin d'expulser les gaz toxiques. Pour assurer le tassement de l'ensilage dans les silos horizontaux, il importe de faire appel à un employé compétent pour conduire un tracteur muni d'un arceau de sécurité et de pneus jumelés. L'ensilage bien tassé doit paraître ferme et non pas spongieux.

Le désilage s'effectue de différentes façons. On utilise souvent des désileuses pour vidanger les silos par le haut. Il est préférable d'utiliser un modèle suspendu plutôt que porté sur l'ensilage, dans les régions où le gel est rigoureux. En outre, la désileuse doit être équipée d'une déchiqueteuse et d'un mécanisme de contrôle de niveau pour décharger l'ensilage gelé. En s'aidant d'un ohmmètre, le préposé doit s'assurer du fonctionnement efficace de la machine sans surcharge du moteur. Les désileuses par le bas permettent une alimentation continue pendant que se poursuit le remplissage du silo. Toutefois, elles coûtent cher à réparer et ne fonctionnent pas convenablement si l'ensilage contient moins de 30 % de matière sèche.

On peut décharger les silos horizontaux avec une benne de tracteur-pelle solide, équipée si possible d'une pince de blocage. Il faut prendre soin de

TABLEAU 4 Taux d'écoulement (30 jours) et composition chimique de l'effluent d'ensilage selon la teneur en matière sèche du fourrage ensilé.

Pourcentage de matière sèche de l'ensilage	Effluent				
	Écoulement kg/jour	Protéines %	Glucides solubles g/L	Matière sèche %	Cendres en pourcentage de matière sèche
15,7	972	0,72	16,4	4,42	18,9
17,0	408	0,82	19,8	5,06	18,9
20,0	380	1,12	15,5	6,78	17,9
24,4	166	1,42	26,5	8,40	15,4

Source : Fisher, L.J., Zurcher, P., Shelford, J.A. et Skinner, J., *Quality and nutrient content of effluent losses from ensiled high moisture grass*, Can. J. Plant Sci. 61:307-312, 1981.

garder ferme le front d'attaque. Il y a moins de pertes avec les désileuses commerciales qui sont conçues pour couper des tranches verticales du front d'attaque tout en le gardant ferme et pour souffler l'ensilage dans une remorque qu'avec tout autre système de désilage. On peut adapter les silos horizontaux au libre-service en utilisant une clôture électrifiée ou une barrière pour restreindre les mouvements des bovins. Le libre-service exige moins d'équipement et d'énergie et constitue le système le plus efficace d'utilisation de l'ensilage, à condition d'être effectué adéquatement. Les silos horizontaux équipés pour le libre-service doivent être à l'abri de la neige et de la pluie, et être pourvus d'un plancher et d'un tablier bétonnés facilitant le ramassage du fumier, lequel sera entreposé dans un endroit accessible.

La distribution des aliments du bétail se fait d'habitude mécaniquement, soit par une distributrice mélangeuse (remorque ou camion) ou par une mangeoire automatique ou une combinaison des deux. La distributrice mélangeuse permet d'incorporer efficacement les céréales ou les compléments dans une ration de fourrage et peut être équipée des balances nécessaires pour préparer avec exactitude des aliments complets. Elle permet également la distribution d'ensilage dans des endroits qui ne peuvent pas être desservis par un convoyeur.

On utilise généralement une mangeoire mécanique (vis transporteuse ou vis d'Archimède) avec un silo tour. Toutefois, ce système ne transporte pas les longs brins de foin ou de paille et exige beaucoup de puissance comparativement aux autres systèmes comme les chaînes, les barrettes et les convoyeurs à impulsion ou les transporteurs vibrants.

Les ensilages comme aliments du bétail

Ensilage de graminées et de légumineuses Les légumineuses contiennent généralement peu de glucides solubles et ont une capacité tampon élevée. Les cultures comme la luzerne pure réagissent bien en général à l'ensilage lorsqu'on leur ajoute des additifs acides; autrement, elles doivent être cultivées et ensilées avec des graminées. Les ensilages de graminées et de légumineuses ont une moins grande valeur nutritive que les graminées fraîches, car elles plaisent moins aux aminaux et perdent des éléments nutritifs lors des conversions métaboliques qui ont lieu pendant la fermentation. Comme dans le cas du fourrage conservé sous forme de foin, la valeur nutritive et l'ingestion volontaire diminuent rapidement s'il y a une baisse de la qualité du produit lors du processus de conservation. Il est généralement plus difficile d'évaluer à l'œil la qualité de l'ensilage que celle du foin. Il est donc primordial de déterminer quelles seront les analyses chimiques qui permettront de déterminer la qualité de l'ensilage. La teneur en matière sèche devrait également être corrigée compte tenu des pertes de composés volatils. On se sert de la teneur en fibre établie par détergent acide et de celle en lignine pour évaluer la maturité et la digestibilité, ainsi que des diverses fractions azotées pour déterminer l'altération causée par la chaleur. Ces critères chimiques peuvent tous aider à prédire la valeur nutritive des ensilages.

On a mis en corrélation l'ingestion des ensilages avec la teneur en matière sèche, le pH, la concentration en ammoniaque et l'acidité totale de l'ensilage, mais on n'a pas réussi à déterminer de façon certaine l'existence de rapports

constants. La neutralisation partielle par le bicarbonate de sodium au moment de l'alimentation a amélioré l'ingestion de l'ensilage de maïs, mais pas celle des ensilages de graminées ou de légumineuses. Comme avec d'autres méthodes de conservation des fourrages, les ensilages à faible teneur en protéines ou en phosphore ne sont pas consommés aussi promptement ni digérés aussi complètement que les ensilages dont les teneurs en ces éléments sont adéquates.

Si on compare la valeur nutritive des ensilages à celle du foin en prenant comme critère le poids, on s'aperçoit que la principale différence est la teneur en eau. En effet, le foin n'a que 10 à 15 % d'humidité (de 85 à 90 % de matière sèche), alors que la teneur en eau des ensilages varie entre 50 et 80 % (de 20 à 50 % de matière sèche). Pour cette raison, il faut servir jusqu'à cinq fois plus de kilogrammes d'ensilage pour obtenir une consommation de matière sèche équivalente à celle fournie par une quantité de foin donnée. Par exemple, il suffit de 10 kg de foin contenant 10 % d'humidité pour obtenir 9 kg de matière sèche, alors que 45 kg d'ensilage à 80 % d'humidité sont nécessaires pour avoir la même quantité de matière sèche. D'après de nombreux résultats de recherche, on peut conclure que la consommation de matière sèche augmente d'environ 1 % pour chaque augmentation de 1 % du contenu de matière sèche, au moins pour les ensilages contenant entre 15 et 35 % de matière sèche. Pour des matières sèches plus élevées, la consommation augmente très peu. Cependant, la digestibilité des fourrages décroît légèrement avec une augmentation de la matière sèche, les fourrages plus humides étant souvent plus digestibles parce qu'ils sont moins murs.

La quantité de grains ajoutée aux fourrages a généralement un effet positif sur la consommation totale et sur la production de lait. Le tableau 5, établi à partir de données provenant de la station de recherches d'Agassiz et du Centre de recherches zootechniques d'Ottawa, illustre le choix du fourrage et de la quantité de grain consommée sur la production de lait.

Les ensilages de graminées, de graminées et de légumineuses, ou de légumineuses conviennent à toutes les classes de ruminants âgés de plus de 6 mois.

Ensilages de céréales Il est pratique pour de nombreux éleveurs de bestiaux d'ensiler leur récolte de céréales. Les céréales diffèrent des graminées et des légumineuses en ce que leur qualité est maximale à l'approche de la maturité du grain, sauf pour l'avoine. Il faut prendre soin d'ensiler adéquatement les céréales, parce qu'elles manquent parfois d'humidité. Il est donc essentiel de les hacher finement et de les tasser avec soin. Au cours de l'ensilage, il faut ajouter de l'eau pour favoriser le tassement si la teneur en matière sèche est supérieure à 40 % dans un silo couloir ou à 50 % dans un silo tour.

Les céréales ensilées contiennent généralement moins de protéines que les graminées et doivent être traitées de la même façon que l'ensilage de maïs en ce qui concerne les compléments. En particulier, il faut s'assurer qu'on ajoute des protéines et du calcium dans les rations pour ruminants à base d'ensilage de céréales. La digestibilité, ou valeur alimentaire de l'ensilage de céréales, dépend de la quantité de paille coupée avec l'épi. Le but fondamental de l'ensilage de céréales est de maximiser le rendement en matière sèche en utilisant la plante en entier, tout en effectuant la récolte des grains et de la paille en une seule opération. Cependant, de nombreux exploitants

TABLEAU 5 Ingestion d'ensilages de graminées et de légumineuses par les vaches en période de lactation.

Type d'ensilage	Matière sèche %	Protéines %	Ingestion de M.S. d'ensilage kg/jour	Ingestion de M.S. de céréales kg/jour	Rendement en lait kg/jour
Sorgho menu	23,0	8,5	9,2	4,7	17,2
Luzerne	27,8	19,3	9,9	4,8	21,3
Dactyle pelotonné	21,8	16,0	11,1	9,6	28,7
Ray-grass	22,2	12,8	9,2	9,2	27,6
Dactyle pelotonné et trèfle blanc	22,6	19,6	13,0	6,2	25,0

de parcs d'engraissements ont tendance à utiliser de l'ensilage d'épis. La récolte des épis d'orge pour l'ensilage se fait d'habitude au stade pâteux moyen. Cet ensilage contiendra environ 50 % de matière sèche sous forme de 50 % de grains et 50 % de menue paille et de paille (poids sec). Sa teneur en protéines brutes pourra atteindre 13 %, selon la saison de croissance et les cultivars utilisés. Les vaches taries et les génisses de remplacement nourries à l'ensilage de céréales peuvent afficher un gain de poids excessif. Un bref résumé des résultats de nombreux essais alimentaires effectués par les chercheurs du Centre de recherches zootechniques sur les ensilages de céréales est présenté au tableau 6. Le Département de zootechnie et d'aviculture de l'Université de la Saskatchewan a également mené de nombreuses études sur les ensilages de céréales et les résultats de ces expériences sont résumés dans l'annexe B.

L'ingestion d'ensilage de céréales chez les vaches laitières a varié selon la qualité d'ensilage, la quantité de grains complémentaires servie et le degré de production,-mais en règle générale, le stade pâteux ferme a fourni la source d'énergie la plus élevée. Il faut se rappeler toutefois que le blé d'hiver est faible en protéines et que la teneur en protéines des céréales décroît avec la maturité; pour cette raison, il est nécessaire d'ajouter des compléments appropriés à la ration.

Conclusions

Le perfectionnement des méthodes d'ensilage et des systèmes de distribution automatique des aliments a popularisé l'ensilage des fourrages comme moyen d'utilisation des graminées, des légumineuses et des céréales.

L'ensilage réduit le temps de fanage et le risque de pertes au champ par rapport à la fenaison, mais il implique généralement des coûts plus élevés en machinerie et en structure d'entreposage.

Diverses structures sont disponibles pour la conservation des ensilages : le silo tour traditionnel en béton, le silo tour à atmosphère contrôlée en béton ou en acier, le silo couloir horizontal ou le silo en tas, ou meule, recouvert d'une toile de polyéthylène. En général, les silos les plus coûteux (à atmosphère contrôlée) conservent le mieux la quantité et la qualité des fourrages. Mais il est important de vérifier si la valeur accrue des fourrages compense adéquatement le coût supplémentaire d'entreposage.

Les additifs donnent des résultats variables et ne sont pas utiles lorsque l'ensilage est bien fait. Pour ce faire, il faut couper la plante au stade de maturité optimale, laisser faner légèrement jusqu'à 30 ou 40 % de matière sèche pour les herbages (ou ajouter de l'eau au besoin pour les céréales entières plus sèches), hacher finement, remplir le silo rapidement et bien sceller. Dans certaines régions pluvieuses où le fanage est difficile, l'addition d'acide formique s'avère être le meilleur moyen pour conserver l'ensilage humide.

Les caractéristiques chimiques de l'ensilage, ainsi que la valeur nutritive, varient avec le genre de fourrage utilisé et la méthode de fermentation employée. Pour bénéficier le plus possible d'un programme d'alimentation avec des ensilages, il faut inclure dans le programme la vérification de la qualité à intervalles réguliers par une méthode normale de laboratoire, ainsi que l'utilisation de compléments appropriés.

TABLEAU 6 Ingestion de matière sèche, teneur en fibre déterminée par détergent acide, teneur en protéines et digestibilité des ensilages de céréales.

Céréales	Matière sèche %	Ingestion de matière sèche kg/jour	Teneur en fibre déterminée par détergent acide %	Protéines %	Digestibilité		Rendement en lait kg/jour
					Matière sèche %	Protéines %	
Ensilage d'avoine							
stade laiteux	31,9	10,1	33,5	14,4	64,8	67,0	18,2
stade pâteux mou	36,6	11,6	34,2	10,5	58,5	62,2	19,4
Blé d'hiver							
stade laiteux	32,6	13,2	34,5	8,3	55,8	54,5	15,2
stade pâteux mou	38,5	13,1	30,3	7,0	53,7	51,6	14,8
stade pâteux ferme	40,2	14,0	27,4	7,2	56,6	53,2	15,9
Triticale	33,1	9,3	32,5	12,8	56,6	—	21,4
Orge							
stade laiteux	22,8	9,7	26,4	16,4	59,4	—	18,7
stade pâteux mou	30,8	11,0	28,0	11,3	59,0	—	17,9
stade pâteux ferme	45,8	10,6	30,2	9,8	55,9	—	18,5
Seigle avant l'épiaison	23,9	7,4	43,4	8,5	53,0	46,1	14,6

ANNEXE A

Coûts annuels d'entreposage de 168 t de matière sèche (M.S.) récoltable dans le champ.

Coûts	Silo tour à atmosphère contrôlée en béton 6 m × 21 m	Silo tour traditionnel en béton 6 m × 21 m	Silo couloir 9 m × 36 m × 3 m
Silo	45 000,00 $	30 000,00 $	15 000,00 $
Désileuse	15 000,00 $	7 000,00 $	4 000,00 $
Coût annuel du capital (12 %/an)*	7 200,00 $	4 440,00 $	2 280,00 $
Entretien de la désileuse (4 %/an)	600,00 $	280,00 $	160,00 $
Coût total annuel par tonne de M.S.	46,43 $	27,86 $	14,52 $
Pertes au champ	10 %	8 %	8 %
Pertes à l'entrepôt	5 %	10 %	15 %
Coût des pertes par tonne récoltable (80 $/t M.S.)†	12,00 $	14,40 $	18,40 $
Coût annuel non rajusté ($/t M.S.)	58,43 $	42,26 $	32,92 $
Facteur d'utilisation‡	1,5	1,25	1,25
Coût annuel rajusté pour l'utilisation ($/t M.S.)	38,95 $	33,81 $	26,34 $

* Le coût annuel du capital est calculé selon la formule des annuités : $i(1 + i)^n / (1 + i)^n - 1$. Ici on a supposé une période de 20 ans ($n = 20$) et un taux d'intérêt de 10 % ($i = 0{,}10$).

† La valeur des fourrages est donnée en $/t M.S. Une valeur de 80 $/t M.S. est équivalente à 64 $/t de foin à 20 % d'humidité, à 40 $/t d'ensilage à 50 % d'humidité et à 16 $/t d'ensilage à 80 % d'humidité.

‡ Le facteur d'utilisation correspond au nombre de fois qu'un silo peut être rempli par année.

ANNEXE B

Résumé de la valeur nutritive des ensilages de céréales.

		Composition de l'ensilage exprimée en pourcentage de matière sèche					
	Pourcentage de matière sèche	Protéines brutes	Cendres	Lignine	Teneur en fibre déterminée par détergent neutre	Teneur en fibre déterminée par détergent acide	Ingestion volontaire kg/jour
ORGE							
Bonanza	31,2 (22,7-35,2)*	13,1 (12,0-15,2)	8,1 (7,9-8,3)	6,4 (4,7-7,5)	58,2 (57,4-59,0)	30,4 (25,2-34,4)	4,2 (2,2-5,9)
Hector	31,0	14,3	—	—	—	—	4,3
BLÉ							
Fielder	52,6	10,7	—	—	—	33,1	4,7
Glenlea	39,4 (37,9-41,3)	13,0 (12,4-13,3)	6,8 (6,7-6,9)	7,8 (6,9-8,8)	56,5 (52,3-60,8)	32,7 (29,7-35,9)	4,5 (3,5-5,0)
Lemhi	39,1	13,1	5,9	8,0	53,7	35,1	2,9
Neepawa	43,5 (41,9-45,0)	12,7 (12,4-13,0)	— —	— —	— —	33,0 —	5,4 (5,3-5,5)
Pitic-62	37,9 (37,2-38,6)	12,7 (11,9-13,4)	7,6 (6,5-8,7)	6,8 (6,4-7,3)	55,0 (54,8-55,1)	33,7 (33,3-34,1)	2,7 (2,3-3,0)

ANNEXE B

Résumé de la valeur nutritive des ensilages de céréales. (suite)

		Composition de l'ensilage exprimée en pourcentage de matière sèche					
	Pourcentage de matière sèche	Protéines brutes	Cendres	Lignine	Teneur en fibre déterminée par détergent neutre	Teneur en fibre déterminée par détergent acide	Ingestion volontaire kg/jour
Sinton	44,2	11,1	—	—	—	37,7	3,3
Wascana	38,4	12,8	7,2	7,5	58,2	35,1	3,3
	(37,2-39,6)	(12,7-12,9)	—	—	—	—	(2,3-4,3)
AVOINE							
Fraser	36,5	11,0	7,8	7,0	57,1	31,2	4,3
	(33,9-37,8)	(10,4-11,6)	(7,4-8,2)	(6,5-7,5)	(52,1-62,2)	(31,1-31,2)	(3,4-5,1)
Hudson	43,0	11,0	—	—	—	32,1	4,9
Random	40,1	11,3	—	—	—	32,8	5,2
	(36,4-43,7)	(10,8-11,7)	—	—	—	—	(5,1-5,2)
1863-4	36,5	10,8	6,0	7,9	52,9	33,3	4,1

* Étendue de valeurs observées. Les données ont été fournies par D.A. Christianson et G.M. Stacey, Département de zootechnie et d'aviculture de l'Université de la Saskatchewan, 1981.

ANNEXE C

Capacité de matière sèche (tonnes métriques) approximative dans les silos tours.

	Diamètre m										
Hauteur m	3,0	3,7	4,3	4,9	5,5	6,1	6,7	7,3	7,9	8,5	9,1
6,1	7	11	14	19	24	30	36	43	51	59	67
7,3	10	14	19	24	31	39	47	55	66	76	88
8,5	12	17	24	32	40	48	58	69	82	94	108
9,8	14	21	29	37	47	59	71	84	99	115	132
11,0	17	25	34	44	56	69	84	99	117	136	156
12,2	20	29	40	52	65	81	97	115	136	157	180
13,4		34	45	59	74	92	112	133	156	181	208
14,6		38	51	67	84	104	127	151	177	205	236
15,8			58	75	95	117	142	169	199	230	264
17,1			64	84	106	131	158	188	220	256	294
18,3			71	92	117	144	174	207	248	280	324
19,5					129	158	190	227	270	308	355
20,7					141	172	207	247	294	336	386
21,9								266	318	363	416
23,2								285	341	387	444
24,4								303	356	413	472

N.B. Les capacités sont calculées de façon à prévoir 0,3 m de tassement pour les 10 m du haut, et 1 m de tassement par 10 m d'épaisseur pour tout l'ensilage en dessous.

Pour calculer la masse humide totale, on multiplie la matière sèche par le facteur 100 (100 — tee) où tee est la teneur en eau sur une base humide (%).

Source : American Society of Agricultural Engineers Yearbook, St. Joseph, Michigan, 1983.

ANNEXE D

Capacité approximative de silos horizontaux tassés (tonnes de matière sèche).

Largeur du silo m	Hauteur de la paroi du silo m	Longueur du silo m				
		20	24	30	36	50
9	3,0	96	119	153	187	266
	3,6	117	145	188	231	331
	4,2	137	172	224	276	398
12	3,0	129	159	204	249	355
	4,2	183	230	299	369	531
	5,4	237	301	399	496	723
15	4,8	263	332	435	539	781
18	4,8	315	398	523	647	937

Pour calculer la masse humide totale, on multiplie la matière sèche par le facteur 100 (100 – tee) où tee est la teneur en eau sur une base humide (%).